



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 485 803 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 91118461.2

(51) Int. Cl.⁵: G02B 21/00, G02B 21/06,
G01B 9/04

(22) Anmeldetag: 30.10.91

(30) Priorität: 10.11.90 DE 4035799
12.12.90 US 626678

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.05.92 Patentblatt 92/21

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI NL SE

(71) Anmelder: Firma Carl Zeiss

W-7920 Heidenheim (Brenz)(DE)

(84) CH DE FR IT LI NL SE AT

(71) Anmelder: CARL-ZEISS-STIFTUNG,

HANDELND ALS CARL ZEISS

W-7920 Heidenheim an der Brenz(DE)

(84) GB

(72) Erfinder: Knupter, Klaus, Dr.
Alemanenstrasse 55
W-7087 Essingen(DE)
Erfinder: Derndinger, Eberhard
Silcherstrasse 67
W-7080 Aalen(DE)
Erfinder: Grosskopf, Rudolf, Dr.
Eschenweg 11
W-7923 Königsbrunn(DE)

(54) Optische Abtastvorrichtung mit konfokalem Strahlengang, in der Lichtquellen- und Detektormatrix verwendet werden.

(57) Beschrieben wird eine Vorrichtung zur dreidimensionalen Untersuchung mit einem konfokalen Strahlengang, bei der ein Beleuchtungs raster (12; 22; 31; 83) in eine Fokusebene (13f; 87) abgebildet wird, die auf bzw. in der Nähe der Oberfläche (14o) des Objektes (14) liegt. Die in der Fokusebene reflektierte Strahlung wird über einen Strahlteiler direkt auf die Empfängerfläche eines CCD-Empfängers (17; 91) abgebildet. Die Abbildung des Beleuchtungs rasters (12; 22; 31; 83) auf der Empfängerfläche erfolgt dabei derart, daß entweder die lichtempfindlichen Bereiche des Empfängers als konfokale Blenden wirken, oder daß Signale der Detektorelemente, die lediglich außerhalb der Fokusebene (13f; 87) gesteuertes Licht empfangen, bei der Auswertung nicht oder gesondert berücksichtigt werden.

Das in der Fokusebene (13f; 87) erzeugte Beleuchtungs rastermaß kann sowohl fest als auch variierbar sein. Ein variierbares Beleuchtungs rastermaß kann beispielsweise durch ein Lumineszenzdiodenarray realisiert sein. Mit der Vorrichtung sind auch Untersuchungen in Durchlicht möglich.

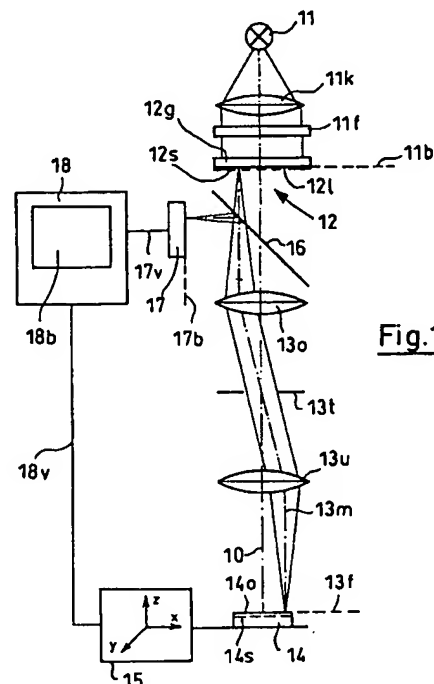


Fig.1

EP 0 485 803 A1

B025

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur dreidimensionalen Untersuchung eines Objektes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine Vorrichtung in Form eines konfokalen Scanning-Mikroskopes ist in einer Veröffentlichung von D. K. Hamilton e.a. (Appl. Phys. B 27, 211 (1982)) beschrieben. Scanning-Mikroskope mit konfokalem Strahlengang, bei dem eine sog. Punktlichtquelle in eine Ebene des Objektes und diese Ebene des Objektes auf einen sog. Punktempfänger bzw. eine Lochblende, hinter der ein Empfänger sitzt, abgebildet wird, haben die Eigenschaft sehr höhenselektiv zu sein, d.h. Ebenen, die nur einen geringen Abstand voneinander haben, optisch zu trennen. In der oben zitierten Veröffentlichung wird diese Eigenschaft dazu benutzt, ein Oberflächenprofil eines Halbleiterbauelementes aufzunehmen. Dafür wird für jede x-y-Lage des Lichtpunktes das Objekt in z-Richtung (Richtung der optischen Achse) bewegt und der Intensitätsverlauf gemessen. Da dieser ein ausgeprägtes Maximum hat, wenn das Bild des Lichtpunktes genau auf der Oberfläche liegt, kann für jeden Punkt in der x-y-Ebene die Höhe der Oberfläche in z-Richtung bestimmt werden und auf diese Weise zeitlich nacheinander das gesamte Oberflächenprofil des Objektes aufgenommen werden.

Ein Nachteil dieser bekannten Vorrichtung ist, daß die Aufnahme eines Oberflächenprofils relativ viel Zeit erfordert, da zu jedem Zeitpunkt nur ein einzelner Objektpunkt abgetastet wird.

Desweiteren ist aus der US-PS 4 407 008 ein konfokales Mikroskop bekannt, bei dem ein ein- oder zweidimensionales Lumineszenzdiodenarray in die Objektebene abgebildet wird. Das an der Objektoberfläche gestreute oder reflektierte Licht wird dann auf ein ein- oder zweidimensionales Detektordiodenarray abgebildet. Dieses Mikroskop ermöglicht zwar die Abtastung des Objektes ohne den Lichtstrahl mechanisch auszulenken oder das Objekt zu verschieben. Jedoch wird auch hier nur ein einziger kleiner Bereich des Objektes in jedem Zeitpunkt beleuchtet, so daß wiederum für die Aufnahme eines Oberflächenprofils relativ viel Zeit erforderlich ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zu schaffen, mit der in relativ kurzer Zeit dreidimensionale optische Untersuchungen durchgeführt werden können.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzeugt das Beleuchtungsraaster gleichzeitig eine Vielzahl getrennter Leuchtflecken in der Fokusebene, so daß gleichzeitig eine entsprechend große Anzahl an Objektpunkten vermessen werden kann. Der Abstand der Leuchtflecken untereinander, d.h.

das Beleuchtungsraastermaß, entspricht etwa dem 2 bis 10-fachen ihrer Durchmesser. Dieses Beleuchtungsraastermaß ist entweder derart auf das Detektorraaster abgebildet, daß das Abbild des Beleuchtungsraastermaßes größer ist als das Detektorraastermaß, oder das Detektorraaster ist größer als die Durchmesser bzw. Kantenlängen der lichtempfindlichen Flächen der einzelnen Detektorelemente. In beiden alternativen Ausführungsformen stellt das Detektorraaster gleichzeitig Detektor und konfokales Raster dar. Im ersten Fall wirken die Detektorelemente, die für ein ebenes Objekt in der Fokusebene zwischen dem Abbild des Beleuchtungsrasters liegen, als Blende, indem die Ausgangssignale dieser Detektoren bei der zweiten Auswertung nicht berücksichtigt werden. Im zweiten Fall wirken die lichtempfindlichen Bereiche zwischen den Detektorelementen als konfokale Blende.

Es hat sich gezeigt, daß als Detektorraaster handelsübliche CCD-Empfänger bestens geeignet sind. Es kann dann die allgemeine nachteilige Eigenschaft dieser Sensoren genutzt werden, daß nur ein kleiner Anteil der Empfängerfläche aus lichtempfindlichen Bereichen besteht. Der Abstand der einzelnen Detektorelemente beträgt etwa das 5 - 6-fache ihrer Durchmesser.

Die Verwendung eines CCD-Empfängers und eines zweidimensionalen Arrays von Löchern in einer beleuchteten Schicht ist für ein Scanning-Mikroskop aus der US-PS 4 806 004 bekannt. Dort ist jedoch nur angegeben, daß das Objekt in verschiedenen Schichtebenen beobachtet werden kann. Vor allem wird dort die Blendenwirkung des CCD-Empfängers nicht ausgenutzt, d.h. die Tatsache, daß er aus rasterförmig angeordneten lichtempfindlichen Bereichen besteht, deren Abmessungen erheblich kleiner sind als ihre Abstände voneinander.

In dem oben angegebenen US-Patent ist der konfokale Strahlengang vielmehr nur bei einem Auflichtmikroskop verwirklicht, bei welchem die zum Objekt gehenden Strahlenbündel durch dasselbe Löcherarray gehen wie die vom Objekt reflektierten Strahlenbündel. Daher ist es notwendig, durch ein als Okular bezeichnetes optisches Element das Löcher-Array in eine Ebene abzubilden, in der es beobachtet oder aufgenommen wird. Für den letzten Fall ist unter anderem eine Video-Kamera mit einem CCD-Empfänger angegeben, deren Bilder gespeichert und ausgewertet werden können.

Bei der vorliegenden Erfindung wird dagegen gerade die rasterförmige Anordnung der Detektorelemente des Detektorrasters benutzt.

Gegenüber der eingangs zitierten Veröffentlichung von Hamilton und dem aus der US-PS 4 407 008 bekannten Mikroskop hat die erfindungsgemäße Lösung nicht nur den Vorteil, daß die Aufnahme

eines Oberflächenprofils infolge der gleichzeitigen Ausleuchtung mehrerer Objektpunkte wesentlich schneller geht, sondern daß auch unmittelbar eine höhenselektive Betrachtung möglich ist, da durch den konfokalen Strahlengang die Intensität der von den einzelnen Objektstellen reflektierten Strahlungen unmittelbar von den Höhen der betreffenden Stellen des Objektes abhängt, so daß jedes Raster-element eine Information über die Höhe der Oberfläche an der zu ihm gehörenden Stelle des Objektes gibt und damit die Intensitätsverteilung über der Oberfläche unmittelbar einen Überblick über die Höhenverteilung der Objektoberfläche gibt. Insbesondere lassen sich dadurch, wenn das Objekt relativ zum Strahlengang in Richtung der optischen Achse bewegt wird, sehr einfach die Bereiche mit gleicher Höhe der Oberfläche feststellen.

Bei Objekten mit reflektierenden Bereichen in oder unter einer transparenten Schicht ergeben sich für die Abhängigkeit der Intensität von der Höhe im Objekt Reflexionsprofile mit einem kleinen Maximum für die Oberfläche der transparenten Schicht und einem großen Maximum für den reflektierenden Bereich. Daher ist es mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich, nicht nur Oberflächenprofile zu untersuchen, sondern auch Strukturen innerhalb oder unter transparenten Schichten.

In einer vorteilhaften, einfachen Ausführungsform der Erfindung wird das Beleuchtungsrastrer durch Löcher in einer Schicht realisiert, die durch eine Lichtquelle beleuchtet wird. Um eine größere Intensität der beleuchteten Löcher - im Folgenden auch kurz als Lichtpunkte bezeichnet - zu erreichen, kann vor der Schicht mit den Löchern ein Linsen-Array angeordnet werden, welches dafür sorgt, daß die Strahlung der Lichtquelle die Schicht nicht gleichmäßig ausleuchtet sondern auf die Löcher konzentriert wird.

Normalerweise werden der CCD-Empfänger und das Beleuchtungsrastrer zueinander so justiert, daß die in die Ebene des Detektorrastrers abgebildeten Lichtpunkte auf lichtempfindliche Bereiche des CCD-Empfängers fallen. In diesem Fall entstehen beim Durchfokussieren Intensitätsmaxima für diejenigen Objektstellen deren reflektierende Flächen genau in der Fokusebene liegen.

Es ist jedoch auch möglich, den CCD-Empfänger und das Beleuchtungsrastrer zueinander so zu justieren, daß die in die Ebene des CCD-Empfängers abgebildeten Lichtpunkte zwischen die lichtempfindlichen Bereiche des CCD-Empfängers fallen. In diesem Fall entstehen beim Durchfokussieren Intensitätsminima für diejenigen Objektstellen deren reflektierende Flächen genau in der Fokusebene liegen. Durch eine besondere Ausbildung des CCD-Empfängers, z.B. durch relativ kleinflächige lichtunempfindliche Bereiche zwischen den Pixeln, kann dieser Effekt noch verstärkt werden.

Schließlich ist auch ein inverses Beleuchtungsrastrer möglich; d.h. das in die Fokusebene und in die zur Fokusebene konjugierten Ebene abgebildete Raster besteht nicht aus hellen Lichtpunkten, sondern aus einer hellen Fläche mit einer rasterförmigen Anordnung von kleinen dunklen Zonen. Ein derartiges Beleuchtungsrastrer, welches z.B. aus einer von der Lichtquelle beleuchteten Schicht mit lichtundurchlässigen Zonen besteht, liefert bei einem CCD-Empfänger mit kleinen lichtempfindlichen Bereichen, auf welche die dunklen Zonen abgebildet werden, ebenfalls Intensitätsminima für diejenigen Objektstellen deren reflektierende Flächen genau in der Fokusebene liegen.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform wird das Beleuchtungsrastrer durch ein Linsen-Array erzeugt, welches eine annähernd punktförmige Lichtquelle vielfach in rasterförmiger Anordnung in eine Beleuchtungsebene abbildet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird das Beleuchtungsrastrer dadurch erzeugt, daß eine von einer Lichtquelle beleuchtete Blende vielfach in rasterförmiger Anordnung in eine Beleuchtungsebene abgebildet wird. Auch in diesem Fall kann ein inverses Beleuchtungsrastrer z.B. dadurch realisiert werden, daß die Blende ein lichtundurchlässiges Zentrum hat.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird das Beleuchtungsrastrer durch ein Lichtquellen-Array erzeugt. Dieses kann z.B. aus einzelnen Leuchtdioden zusammengesetzt sein oder in integrierter Technik hergestellt werden. In beiden Fällen ist es ganz besonders vorteilhaft, die Arrays und ihre Spannungsversorgung so auszubilden, daß entweder jede einzelne Lichtquelle oder bestimmte Teilmengen der Lichtquellen unabhängig von den anderen ein- und ausgeschaltet werden können. Das Beleuchtungsrastrermaß ist dann variierbar und es sind unterschiedliche Tiefenaufösungen einstellbar.

Ein variierbares Beleuchtungsrastrer ist auch dadurch realisierbar, daß die Transmission von Teilbereichen des Beleuchtungsrastrers variierbar ist. Dazu kann das Beleuchtungsrastrer eine von hinten beleuchtete Flüssigkristallmatrix sein.

Zur Aufnahme der oben erläuterten höhenselektiven Übersichtsbilder ist es zweckmäßig, eine Verstellvorrichtung vorzusehen, welche es erlaubt die Fokusebene mit den Bildern der Lichtpunkte auf verschiedene Schichtebenen des Objektes einzustellen.

Zur Aufnahme vollständiger Reflexionsprofile mit guter Auflösung ist es zweckmäßig, eine Verstellvorrichtung vorzusehen, welche es erlaubt, das Beleuchtungsrastrer und das Objekt relativ zueinander in Ebenen senkrecht zur optischen Achse zu bewegen, so daß das Objekt mit dem Beleuchtungsrastrer abgescannt wird. Die Relativbewegung

zwischen Lichtpunkten und Objekt kann dabei innerhalb des Abstandes benachbarter Lichtpunkte bleiben oder auch ein Vielfaches davon betragen. Bei der Verwendung variierbarer Beleuchtungsra-
5 ster kann ein grobes Abscannen des Objektes auf durch sequentielles Einschalten unterschiedlicher Teilbereiche des Beleuchtungsrasters erfolgen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der CCD-Empfänger mit einem Computer verbunden, der die Signale des CCD-Empfängers auswertet. Es ist in diesem Fall vorteil-
10 haft, die Verstellvorrichtungen für die relative Bewegung von Lichtpunkten und Objekt zueinander in Richtung der optischen Achse und/oder in den Ebenen der Lichtpunkte bzw. des Objektes durch den Computer zu steuern.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird von dem Computer außerdem eine Schaltvorrichtung gesteuert, die unter-
15 schiedliche Teilmengen der Lichtquellen des Lichtquellen-Arrays ein- und ausschaltet, bzw. die Transmission unterschiedlicher Teilbereiche des Beleuchtungsrasters variiert. Dabei kann z.B. die Anzahl der eingeschalteten Lichtquellen von den Ergebnissen der Auswertung des Computers ge-
20 steuert werden, so daß in kritischen Bereichen eines Objektes der Streulichtanteil durch eine Verminderung der Anzahl der wirksamen Lichtquellen gesenkt werden kann.

Beim Abscannen eines Objektes kann es vorteilhaft sein, Beleuchtungsraster und CCD-Empfänger relativ zueinander in der Beleuchtungsebene
25 bzw. in der Blendenebene durch eine Schalt- oder Verstellvorrichtung, die zweckmäßigerweise vom Computer gesteuert wird, reell oder virtuell zu verschieben. Mit einem leistungsfähigen Computer können durch diese Verschiebung zusätzliche In-
30 formationen gewonnen werden, die eine genauere Auswertung ermöglichen. In diesem Fall sollte das Rastermaß des Beleuchtungsrasters größer sein als das Rastermaß der lichtempfindlichen Bereiche des CCD-Empfängers.

Eine virtuelle Verschiebung von Beleuchtungsra-
35 ster und Detektorraster läßt sich beispielsweise dadurch realisieren, daß zwischen dem Beleuchtungsraster und dem Detektorraster eine planparallele Platte angeordnet ist, die um eine senkrecht zur optischen Achse liegende Achse schwenkbar
40 ist. Bei dem Ausführungsbeispiel mit Linsenarray können auch zwei Lichtquellen nebeneinander angeordnet sein. Die virtuelle Verschiebung erfolgt dann durch Umschalten zwischen den Lichtquellen.

Die Verschiebung von Beleuchtungs- und Beobachtungsraster ermöglicht einen periodischen Wechsel zwischen dem Justagezustand, in dem
45 die Lichtpunkte auf lichtempfindliche Bereiche abgebildet sind und dem Justagezustand, in dem die Lichtpunkte auf lichtunempfindliche Zwischenräu-

me des Detektorrasters abgebildet sind. Durch pixelweise Differenzbildung zweier in den unterschiedlichen Justagezuständen aufgezeichneter
5 Bilder im Computer läßt sich dann der konfokale Effekt verstärken, da die Differenz in den fokussierten Bereichen besonders groß und in den defokussierten Objektbereichen besonders klein ist.

Für eine möglichst geringe Tiefenschärfe der konfokalen Abbildung ist es vorteilhaft, an Stelle der üblichen kreisförmigen Telezentrie-Blende eine
10 ringförmige Blende vorzusehen. Die Anwendung einer derartigen Blende ist aus der EP-A2-0 244 640 bekannt. Dort sind auch Blenden mit anderen Transmissionsmustern (pattern) beschrieben, die
15 auch für das vorliegende optische Abbildungssystem geeignet sind, um die dreidimensionale Übertragungsfunktion an vorbekannte Objektmuster anzupassen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von in den Figuren 1 bis 8 dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigen:

- Fig. 1 eine Ausführung, bei der das Beleuch-
20 tungsraster durch eine beleuchtete Schicht mit Löchern erzeugt wird,
- Fig. 2 eine Ausführung, bei der die Aus-
25 leuchtung der Löcher durch ein zusätzliches Linsen-Array verbessert wird,
- Fig. 3 eine Ausführung, bei der das Beleuch-
30 tungsraster durch ein Halbleiter-Array erzeugt wird,
- Fig. 4 eine Glasplatte mit einem Muster für ein inverses Beleuchtungsraster,
- Fig. 5 eine Anordnung zur Erzeugung eines
35 Beleuchtungsrasters durch vielfache Abbildung einer Lichtquelle mit einem Linsen-Array,
- Fig. 6 eine Anordnung zur Erzeugung eines
40 Beleuchtungsrasters durch vielfache Abbildung einer beleuchteten Blende mit einem Linsen-Array,
- Fig. 7 ein Beispiel für die beleuchtete Blende in Figur 6 und
- Fig. 8 eine Anordnung mit einer Flüssigkristallmatrix als Beleuchtungsraster im
45 Durchlicht.

In Fig. 1 ist mit (11) eine Lichtquelle, z.B. eine Halogenlampe, bezeichnet, die mit Hilfe des Kondensors (11k), evtl. über ein Filter (11f) (zur Aussonderung eines ausreichend schmalen Spektralbereiches), Löcher (12l) in einer Schicht (12s) be-
50 leuchtet. Eine derartige Schicht kann in bekannter Weise z.B. aus Chrom auf einer Glasplatte (12g) hergestellt werden. Die Löcher (12l) sind in der Schicht (12s) ebenso rasterförmig angeordnet wie die lichtempfindlichen Bereiche des CCD-Empfängers (17). Wird z.B. der Empfänger 1 CX 022 der Fa. Sony verwendet, dann enthält die Schicht 512

x 512 Löcher mit einem Abstand von 11 μm in beiden Richtungen des Rasters und mit einer Lochgröße von z.B. 2 μm x 2 μm . Die Größe der Löcher ist also erheblich kleiner als ihr Abstand.

Das durch die beleuchteten Löcher (12l) in der Schicht (12s) erzeugte Beleuchtungsraster liegt in der Beleuchtungsebene (11b). Diese wird durch die Linsen (13o, 13u) in die Fokusebene (13f) abgebildet, so daß in letzterer das Objekt (14) mit rasterförmig angeordneten Lichtpunkten beleuchtet wird. Der Abstand der Lichtpunkte von Mitte zu Mitte wird als Beleuchtungsrastermaß bezeichnet. Bei nichttransparenten Objekten kann nur die Oberfläche (14o) beleuchtet werden, während bei transparenten Objekten auch Schichten (14s) im Inneren mit den Lichtpunkten beleuchtet werden können. Die vom Objekt in der Fokusebene (13f) reflektierten Lichtstrahlen werden von den Linsen (13u, 13o) über einen Strahlteiler (16) in der Blendenebene (17b) fokussiert. Die für eine konfokale Anordnung notwendigen Blenden werden in der Blendenebene (17b) realisiert durch die lichtempfindlichen Bereiche des CCD-Empfängers (17), die durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, die größer sind als die lichtempfindlichen Bereiche.

Zwischen den Linsen (13o, 13u) ist üblicherweise eine sog. Telezentrie-Blende (13t) angeordnet, welche dafür sorgt, daß der Mittenstrahl (13m) parallel zur optischen Achse (10) auf das Objekt (14) trifft, so daß die Lage der Lichtpunkte auf dem Objekt sich nicht ändert, wenn das Objekt (14) in Richtung der optischen Achse (10) bewegt wird.

Das Objekt (14) kann durch eine Verstellvorrichtung (15) in allen 3 Raumrichtungen bewegt werden, so daß verschiedene Schichten (14s) des Objektes (14) abgescannt werden können. Dabei kann die Bewegung in x- und y-Richtung kleiner gewählt werden als das Rastermaß der Lichtpunkte (12) bzw. des CCD-Empfängers (17). Selbstverständlich kann die Bewegung des Objektes (14) in z-Richtung auch durch verschieben der Linsen (13o, 13u) in Richtung der optischen Achse (10) erreicht werden und ebenso können anstelle der Bewegung des Objektes in x- und y-Richtung auch die Schicht (12s) mit den Löchern (12l) und CCD-Empfänger (17) entsprechend bewegt werden.

Die Signale des CCD-Empfängers (17) werden über die Verbindungsleitung (17v) in einen Computer (18) übertragen, der die Auswertung übernimmt und auf einem Bildschirm (18b) die Ergebnisse der Auswertung z.B. in Form von graphischen Darstellungen wiedergibt. Der Computer (18) kann auch über die Verbindungsleitung (18v) die Verschiebung der Fokusebene (13f) im Objekt und das Scannen in x- und y-Richtung steuern. Diese Steuerung kann im Computer als festes Programm vorliegen oder abhängig von den Ergebnissen der Auswertung erfolgen.

In Figur 2 ist zwischen dem Kondensor (11k) bzw. dem Filter (11f) und der Schicht (12s) mit den Löchern (12l) ein Linsen-Array (22a) angeordnet, welches ebenso viele kleine Linsen (22l) enthält wie die Schicht (12s) Löcher (12l) hat. Die Linsen (22l) haben die Aufgabe, Bilder der Leuchtquelle der Lichtquelle (11) in die Löcher abzubilden und damit den Lichtpunkten eine größere Intensität zu geben.

Das Linsen-Array (22a) und die Schicht (12s) mit den Löchern (12l) können - wie dargestellt - in einem gemeinsamen Teil (22g) vereinigt sein. Die Herstellung geeigneter Linsen-Arrays ist z.B. aus einer Veröffentlichung von K. Koizumi (SPIE Vol. 1128, 74 (1989)) bekannt.

Eine besonders vorteilhafte Realisierung des Beleuchtungsrasters ist in Figur 3 dargestellt. Dort ist mit (31) ein Lichtquellen-Array bezeichnet, welches z.B. aus Lumineszenzdiolen (LEDs) (31l) bestehen kann. Ein derartiges Array mit einer Größe von z.B. 10 x 10 Dioden läßt sich z.B. aus handelsüblichen Mini-Dioden LSU260-EO der Fa. Siemens mit einem Abstand der Dioden von 2,5 mm zusammensetzen und hat daher eine Gesamtgröße von 2,5 cm x 2,5 cm. Es wird im Maßstab von ca. 1 : 5 in die Beleuchtungsebene (11b) durch das Objektiv (31o) so abgebildet, daß das Abbild des Beleuchtungsrasters in der Ebene des CCD-Empfängers ungefähr die Größe der gesamten lichtempfindlichen Fläche des CCD-Empfängers von 5 mm x 5 mm erhält. Vom CCD-Empfänger (17) werden in diesem Fall nur 100 lichtempfindliche Bereiche mit einem Abstand von ca. 0,5 mm x 0,5 mm von den insgesamt vorhandenen 512 x 512 Detektorelementen ausgenutzt. Trotzdem ergibt sich durch die 100 Lichtpunkte ein erheblicher Zeitgewinn gegenüber dem Scannen mit nur einem Lichtpunkt.

Auch in diesem Fall kann es vorteilhaft sein, in der Beleuchtungsebene (11b) eine Schicht (32s) mit Löchern (32l) anzuordnen, damit die Lichtpunkte genügend kleine Abmessungen erhalten. Außer dem Objektiv (31o) für die verkleinerte Abbildung ist eine Feldlinse (31f) für die weitere Abbildung im konfokalen Strahlengang zweckmäßig.

Mit einem Piezo-Antrieb (15v) läßt sich die Schicht (32s) senkrecht zur optischen Achse in x- und/oder y-Richtung verschieben, so daß alternierend die Löcher (32l) auf lichtempfindliche Bereiche und auf lichtunempfindliche Zwischenräume der CCD-Kamera (17) abgebildet sind. Im Computer (18) wird dann pixelweise die Differenz der Lichtintensität zweier nacheinander aufgenommener Bilder berechnet. Dadurch läßt sich ein verstärkter konfokaler Effekt erzielen.

Wesentlich vorteilhafter ist es, für das Beleuchtungsraster integrierte LED-Arrays zu verwenden, wie sie z.B. in einer Veröffentlichung von J. P. Donnelly (SPIE 1043, 92 (1989)) beschrieben sind.

Auch derartige LED-Arrays haben genauso wie das zusammengesetzte Array aus Mini-Dioden den Vorteil, daß definierte Teilmengen der LEDs ein- und ausgeschaltet werden können. In beiden Fällen kann das Ein- und Ausschalten vom Computer (18) über die Schaltvorrichtung (19) gesteuert werden.

Der in den Figuren 1 bis 3 dargestellte konfokale Strahlengang zwischen Beleuchtungsebene (11b), Fokusebene (13f) und Blendenebene (17b) ist nur eine spezielle Ausführungsform von mehreren bekannten konfokalen Strahlengängen, bei denen die Erfindung in für den Fachmann sofort erkennbarer Weise angewendet werden kann. Außerdem ist auch bei dem dargestellten Strahlengang eine Abbildung der Beleuchtungsebene (11b) in die Fokusebene (13f) im Maßstab 1 : 1 keineswegs notwendig. Vielmehr ist dabei nicht nur - wie von Mikroskopen bekannt - eine Verkleinerung sondern auch eine Vergrößerung möglich, weswegen in der Überschrift auch nicht die Bezeichnung Mikroskop verwendet wurde.

In der Figur 4 ist eine Glasplatte (41) für ein inverses Beleuchtungsraaster dargestellt. Hier besteht die auf die Glasplatte aufgebrachte, lichtundurchlässige Schicht nur aus kleinen Zonen (42), welche durch relativ weite, lichtdurchlässige Bereiche voneinander getrennt sind.

In der Figur 5 wird das Beleuchtungsraaster durch ein Linsen-Array (53) erzeugt, welches durch ausreichend gute Abbildungseigenschaften von einer nahezu punktförmigen Lichtquelle (51) ausreichend kleine Lichtpunkte (54) in der Beleuchtungsebene (11b) herstellt. Die Kondensorlinse (52) bewirkt, daß das Linsen-Array (53) von einem Parallelbündel durchsetzt wird, so daß jede einzelne Linse (53i) optimal benutzt wird.

Figur 6 zeigt eine Anordnung bei der durch ein Linsen-Array (53) eine Blende (61) vielfach in die Beleuchtungsebene (11b) abgebildet wird. Diese Blende wird über den Kondensor (62) und die Streuscheibe (63) von der Lichtquelle (11) beleuchtet. Als Blende sind die verschiedensten Ausführungsformen möglich. Als Beispiel zeigt die Figur 7 eine Blende (61) mit quadratischer Begrenzung des lichtdurchlässigen Bereiches (71) und einem lichtundurchlässigen Zentrum (72) für ein inverses Beleuchtungsraaster. Natürlich sind auch Blenden für ein Beleuchtungsraaster aus Lichtpunkten etc. möglich.

In dem Ausführungsbeispiel nach der Fig. 8 ist ein konfokales Rastermikroskop dargestellt. Es enthält als Beleuchtungsraaster ein Flüssigkristalldisplay (83). Die Transmission der Teilbereiche (83a-i) des Flüssigkristalldisplays, von denen hier lediglich neun Teilbereiche dargestellt sind, ist von einer elektronischen Schalteinrichtung (97) adressierbar variierbar.

Das Flüssigkristalldisplay (83) ist rückwärtig von einer Lichtquelle (81) und einem Kollektor (82) beleuchtet. Über eine Zwischenlinse (84) und einem Kondensor (85) ist das Beleuchtungsraaster (83) verkleinert in die Fokusebene (87) abgebildet. Als Telezentrierblende dient hier die Eintrittspupille (85b) des Kondensors.

Beobachtungsseitig wird das in der Fokusebene (87) gelegene Bild des Flüssigkristalldisplays über ein Objektiv (88) und eine Tubuslinse (90) telezentrisch auf einen CCD-Empfänger (91) abgebildet. Hier dient die Austrittspupille (88b) des Objektivs (88) als Telezentrierblende.

Die vom CCD-Empfänger (91) aufgenommenen Bilder werden nach Digitalisierung in einem Analog/Digitalwandler in einen Rechner (94) eingelesen und verarbeitet.

In dem dargestellten Fall sind lediglich zwei Teilbereiche (83a, 83e) des Flüssigkristalldisplays (83) auf hohe Transmission geschaltet. Dementsprechend werden in der Fokusebene (87) auch lediglich zwei Leuchtflecken erzeugt und lediglich die beiden Detektorelemente (91a, 91e) die den beiden Teilbereichen (83a, 83e) abbildungsmäßig zugeordnet sind, empfangen in der Fokusebene (87) gestreutes Licht. Die verbleibenden Detektorelemente (91b-d, 91f-i) wirken als konfokale Blenden, indem ihre Signale bei der Bildauswertung nicht oder gesondert berücksichtigt werden.

Das Objekt (14) kann nun in der Fokusebene (87) dadurch abgetastet werden, daß nacheinander unterschiedliche Teilbereiche (83a-i) des Flüssigkristalldisplays (83) oder unterschiedliche Kombinationen der Teilbereiche (83a-i) auf hohe Transmission geschaltet werden und jeweils die Signale der den eingeschalteten Teilbereichen (83a-i) zugeordneten Detektorelemente (91a-i) bei der Auswertung berücksichtigt werden. Für diese adressierbare Ansteuerung der Teilbereiche (83a-i) ist der Computer (94) mit der Schalteinrichtung (97) verbunden. Das anschließend aus mehreren Einzelbildern zusammengesetzte Gesamtbild wird dann auf einem Monitor (95) dargestellt.

Desweiteren ist der Objektisch (86) über eine Steuereinrichtung (98), die selbst wiederum vom Computer (94) angesteuert wird, in den drei zueinander senkrechten Raumrichtungen verschiebbar. Durch feine Verschiebung des Objektisches (86) parallel zur Fokusebene (87) lassen sich Bilder mit sehr hoher latenter Auflösung aufzeichnen. Die Verschiebung des Objektisches (86) parallel zur optischen Achse dient zur Aufnahme von unterschiedlichen Tiefenschnitten des Objektes (14).

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist lediglich das Detektorraastermaß, d.h. die Mittenabstände der Detektorelemente (91a-i) fest. Dagegen ist das Beleuchtungsraastermaß in der Fokusebene über den Computer (94) und die Schaltvorrichtung (97) vari-

ierbar und hängt davon ab, wie viele Teilbereiche (83a-i) des Displays (83) gleichzeitig auf hohe Transmission geschaltet sind. Daher ist auch die konfokale Wirkung entsprechend den gegebenen Meßanforderungen variierbar. So können beispielsweise zur Erzeugung von Übersichtsbildern alle Teilbereiche (83a-i) auf hohe Transmission geschaltet sein. Das vom CCD-Sensor (91) aufgenommene Bild entspricht dann einem normalen Hellfeldbild. Es ist jedoch auch möglich, unterschiedliche Abstände der auf hohe Transmission geschalteten Teilbereiche (83a-i) einzustellen. In diesem Fall variiert die konfokale Wirkung innerhalb des Bildfeldes.

In der Fig. 8 wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit lediglich neun Teilbereiche (83a-i) des Displays und neun zugeordnete Detektorelemente (91a-i) dargestellt. Es ist klar, daß sowohl das Display als auch der Empfänger (91) wesentlich mehr, zweidimensional angeordnete Teilbereiche bzw. Detektorelemente aufweisen kann.

Bei den anhand der Zeichnungen beschriebenen Ausführungsbeispielen hat das Licht beleuchtungs- und beobachtungsseitig stets dieselbe Wellenlänge. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann jedoch auch für Fluoreszenzmessungen vorteilhaft eingesetzt werden. Dafür können beispielsweise vor dem Detektorraster entsprechende Farbfilter eingesetzt sein, die lediglich das Fluoreszenzlicht des Objektes transmittieren lassen und das auf das Objekt projizierte Licht sperren.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur dreidimensionalen Untersuchung eines Objektes
 - mit einem Beleuchtungsraster,
 - einem Detektorraster, das aus einer Vielzahl unabhängiger Detektoren besteht, deren Mittelpunkts-Abstände ein Detektorrastermaß darstellen,
 - sowie optischen Elementen zur Abbildung des Beleuchtungsrastrers in eine Fokusebene und zur Abbildung der Fokusebene auf das Detektorraster,
 dadurch gekennzeichnet,
 - daß das Beleuchtungsraster (12; 22; 31; 83) gleichzeitig mehrere getrennte Leuchtflecken oder Schattenzonen in der Fokusebene (13f; 87) erzeugt, deren Mittelpunkts-Abstände ein Beleuchtungs-rastermaß darstellen, und
 - daß entweder das Abbild des Beleuchtungsrastrermaßes in der Ebene des Detektorrastrers (17; 91) größer ist als das Detektorrastermaß, oder das Detektorrastermaß größer ist als die Durchmesser

bzw. Kantenlängen der lichtempfindlichen Flächen der einzelnen Detektorelemente.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Detektorrastermaß mindestens dem zweifachen des Durchmessers bzw. Kantenlänge der lichtempfindlichen Flächen der einzelnen Detektorelemente entspricht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Detektorrastermaß ein CCD-Sensor (17; 91) ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbild des Beleuchtungsrastrermaßes in der Ebene des Detektorrastrers (17; 91) mindestens dem zweifachen des Detektorrastermaßes entspricht.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungs-raster (12) aus von einer Lichtquelle (11) beleuchteten Löchern (12l) in einer Schicht (12s) besteht.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Beleuchtung der Löcher (12l) ein Linsen-Array (22a) vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungs-raster aus einer von einer Lichtquelle (11) beleuchteten Schicht mit lichtundurchlässigen Zonen (42) besteht.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungs-raster durch ein Linsen-Array (53), welches eine Lichtquelle (51) vielfach in rasterförmiger Anordnung in eine Beleuchtungsebene (11b) abbildet, erzeugt ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungs-raster durch ein Linsen-Array (53), welches eine von einer Lichtquelle (11) beleuchtete Blende (61) vielfach in rasterförmiger Anordnung in eine Beleuchtungsebene (11b) abbildet, erzeugt ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (61) ein lichtundurchlässiges Zentrum (72) hat.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungsrastermaß variierbar ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungsraster ein Lichtquellen-Array (31) enthält. 5
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquellen (31i) des Lichtquellen-Arrays (31a) einzeln oder in Teilmengen ein- und ausschaltbar sind. 10
14. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmission von Teilbereichen (83a-i) des Beleuchtungsrasters (83) einzeln oder in Teilmengen variierbar ist. 15
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine elektronische Schaltungsvorrichtung (19; 97) zur Variation des Beleuchtungsrastermaßes vorgesehen ist. 20
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Verstellvorrichtung (15; 98) die Fokusebene (13f) auf verschiedene Schichten (14s) des Objektes (14) einstellbar ist und/oder das Beleuchtungsraster (12; 22; 31; 83) und das Objekt (14) relativ zueinander in Ebenen senkrecht zur optischen Achse (10) bewegbar sind. 25 30
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der CCD-Empfänger (17; 91) mit einem Computer (18; 94) verbunden ist, in dem die Signale des CCD-Empfängers (17; 91) ausgewertet werden. 35
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer (18; 94) mit einer Verstellvorrichtung (15; 98) verbunden ist, durch welche die Einstellung der Fokusebene (13f; 87) auf verschiedene Schichten (14s) des Objektes (14) und/oder die Bewegung von Beleuchtungsraster (12; 22; 31; 83) und Objekt (14) relativ zueinander durch den Computer (18; 94) steuerbar ist. 40 45
19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer (18; 94) mit der Schaltungsvorrichtung (19; 97) verbunden ist, durch welche die Lichtquellen (31i; 83a-i) des Lichtquellen-Arrays (31a; 83) einzeln oder in Teilmengen abhängig von den Ergebnissen der Auswertung des Computers durch den Computer (18; 94) ein- und ausschaltbar sind. 50 55
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer (18) mit einer Schalt- oder Verstellvorrichtung (15v) verbunden ist, durch welche das Beleuchtungsraster (12; 22; 31) und der CCD-Empfänger (17) relativ zueinander in ihrer jeweiligen Ebene verschiebbar sind.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß im konfokalen Strahlengang eine Telezentrie-Blende (13t) vorgesehen ist, die ringförmig ausgebildet ist und/oder ein Transmissionsmuster hat.

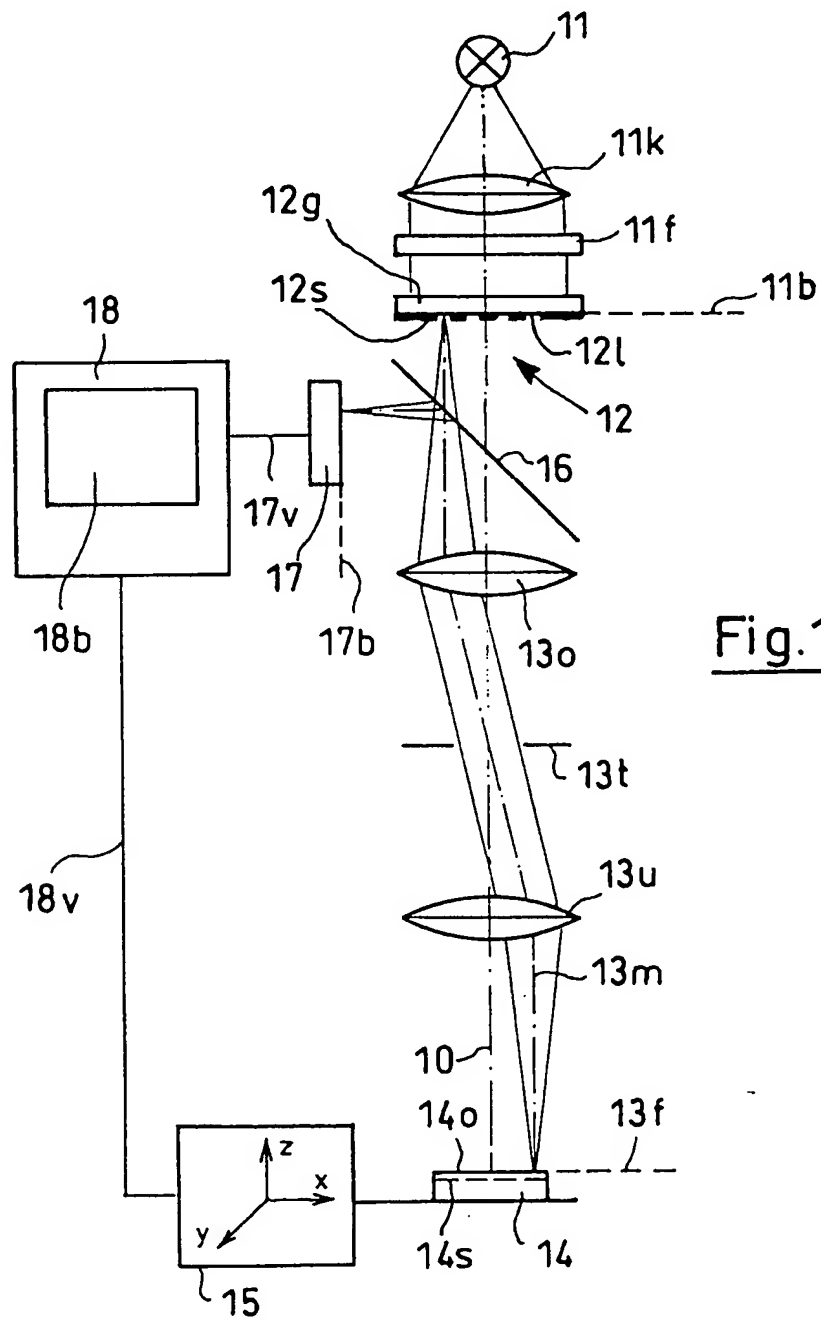
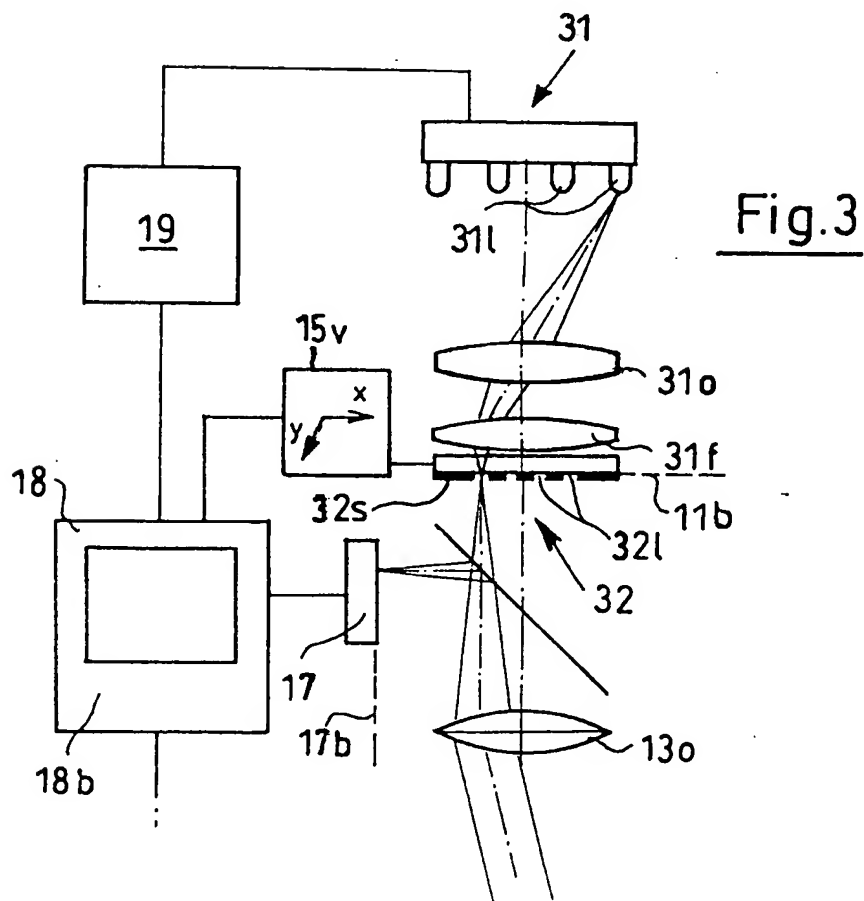
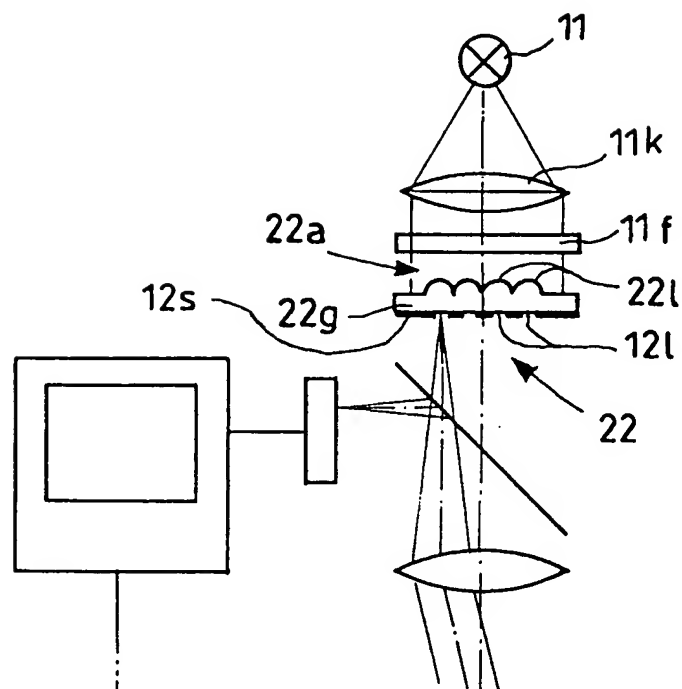


Fig.1



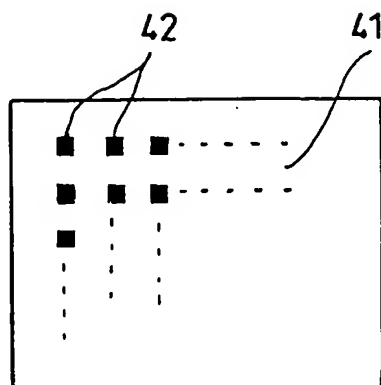


Fig. 4

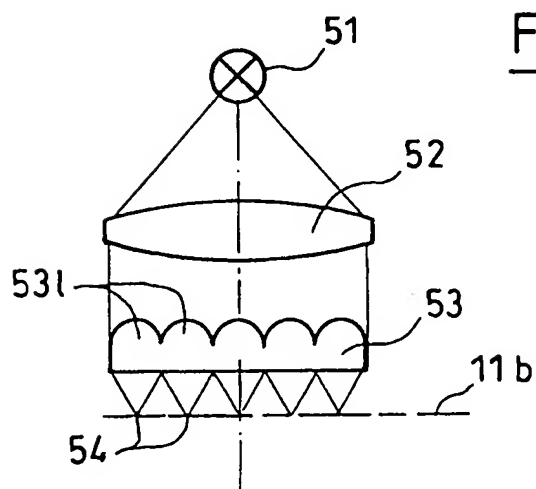


Fig. 5

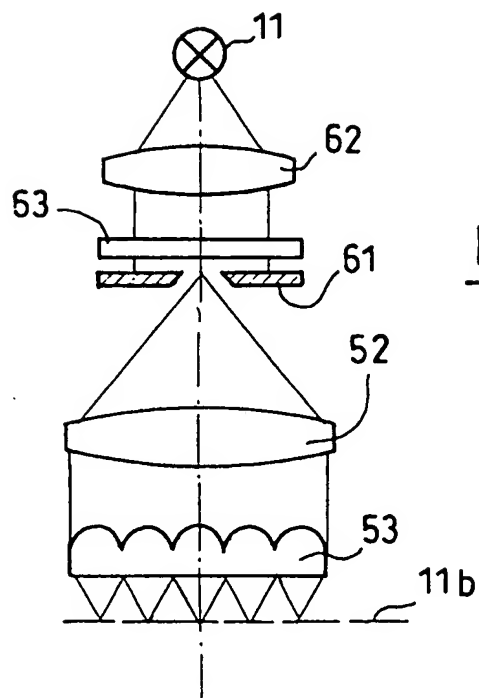


Fig. 6

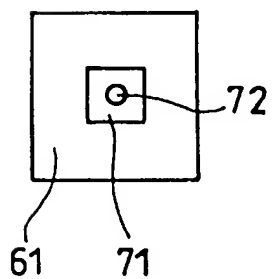
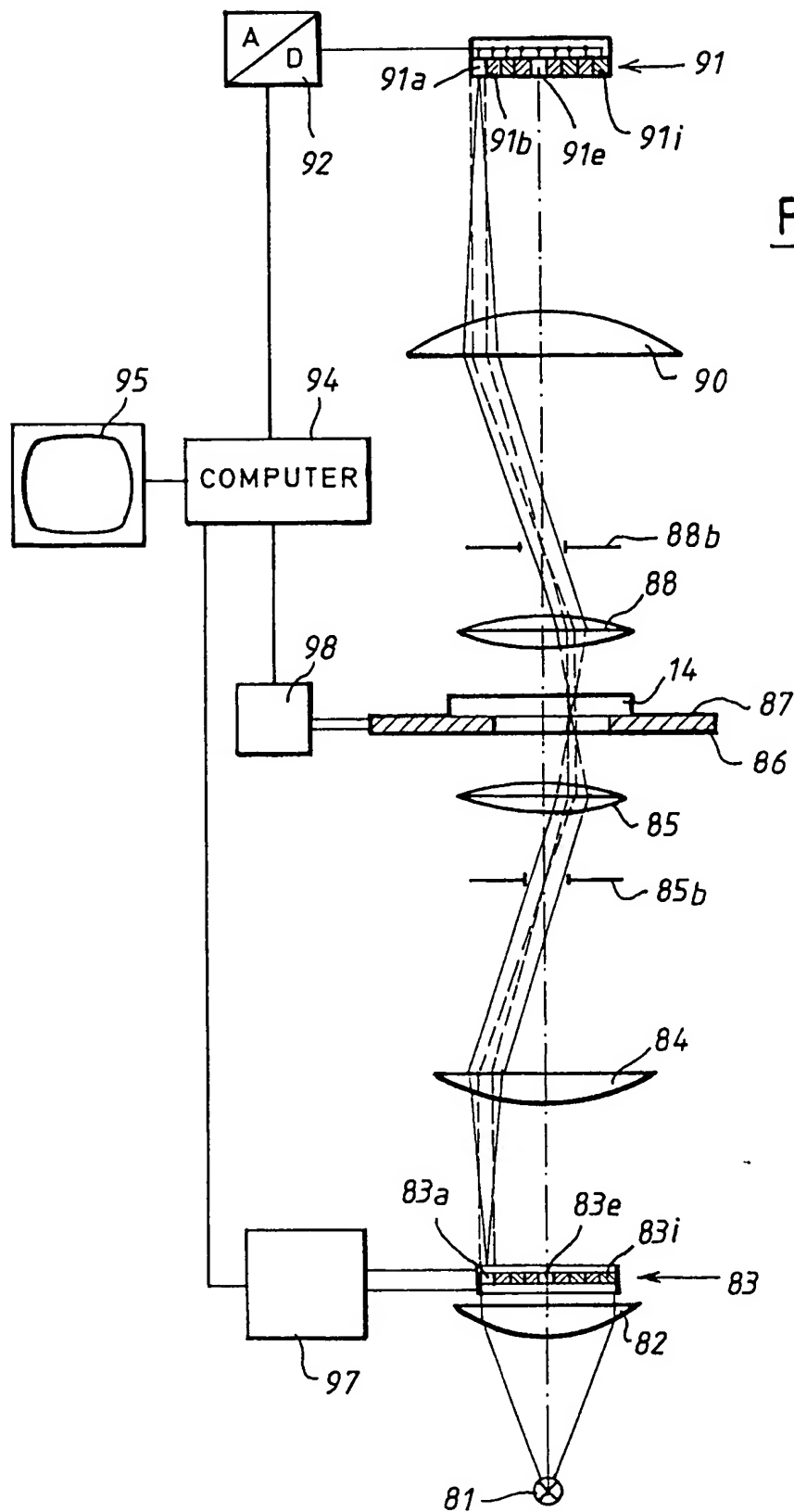


Fig. 7





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 11 8461

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A,D	US-A-4 806 004 (WAYLAND) * Spalte 7, Zeilen 8-44; Figuren 1,3-6 * ---	1-3,5, 16	G 02 B 21/00 G 02 B 21/06 G 01 B 9/04
A,D	US-A-4 407 008 (SCHMIDT et al.) * Spalte 12, Zeilen 35-62; Figur 6 * ---	1,12-17 ,19	
A	EP-A-0 320 760 (TRACOR NORTHERN) * Seite 3, Zeilen 6-25; Figuren 1,3,5 * ---	1	
P,X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Band 15, Nr. 207 (P-1207), 28. Mai 1991; & JP - A - 3055510 (SUMITOMO CEMENT) 11.03.1991 * gesamtes Dokument * -----	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			G 02 B G 01 B
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 15-01-1992	Prüfer VON MOERS F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	